

PCT/BE 94/00076

BE 99/76

KONINKRIJK DER



NEDERLANDEN

5

Bureau voor de Industriële Eigendom



09/719757

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

Hierbij wordt verklaard, dat in Nederland op 13 oktober 1998 onder nummer 1010311,
ten name van:

Dirk Ernest Maria VAN DYCK

te Aartselaar, België

een aanvraag om octrooi werd ingediend voor:

"Werkwijze en inrichting voor het corrigeren van nabijheidseffecten ",

onder inroeping van een recht van voorrang, gebaseerd op de in Nederland op 16 juni 1998 onder
nummer 1009422 ingediende aanvraag om octrooi, en

dat de hieraan gehechte stukken overeenstemmen met de oorspronkelijk ingediende stukken.

Rijswijk, 18 juni 1999.

De Directeur van het Bureau voor de Industriële Eigendom,
voor deze,

A.W. van der Kruk.

10 10 3 1 1

UITTREKSEL

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigd geprecompenseerd patroon van 5 blootstellingsdoses van een elektronenbundel, omvattende:

- het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;
 - het met de versmeringsfunctie en het gewenst patroon bepalen van het geprecompenseerde patroon,
- 10 waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevatten en dat de blootstellingsdoses ten opzichte van elkaar ten minste in enige mate glad zijn.

10 10 3 1 1

1

B. v. d. I.E.

13 OKT. 1998

WERKWIJZE EN INRICHTING VOOR HET CORRIGEREN VAN NABIJHEIDSEFFECTEN

De onderhavige uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en inrichting voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdo-
5 sis van een elektronenbundel.

Bij het vervaardigen van de nieuwste generaties van geïntegreerde schakelingen wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van gefocusseerde elektronenbundels in lithogra-
fische processen in plaats van gebruik te maken van de
10 gebruikelijke optische lithografie-technieken, aangezien deze laatste technieken beperkingen met betrekking tot resolutie als gevolg van diffractie van het gebruikte laserlicht ondervinden. De resolutie van de geïntegreerde schakeling die verkregen wordt met een dergelijke elek-
15 tronenbundellithografie is groter, doch wordt beperkt door verstrooiing van de elektronen in de deklaag. Er zijn werkwijzen bekend van het minimaliseren van ver- strooiingseffecten of van het vooraf hiervoor compenseren en het daardoor verbeteren van de resolutie van de ver-
20 kregen geïntegreerde schakelingen.

De bekende werkwijzen hebben echter als bezwaar dat verstrooiingseffecten zelf slechts in beperkte mate te minimaliseren zijn, terwijl een compensatie vooraf volgens de bekende werkwijze veel berekeningen vergt en
25 derhalve een lange berekeningstijd nodig heeft. Voor het vervaardigen van geïntegreerde schakelingen dient bij- voorbeeld een zeer groot aantal patroonpunten, vaak in de orde van grootte van 10^{10} patroonpunten, "geschreven" te worden, terwijl het aantal hiervoor benodigde bereke-
30 ningen een veelvoud daarvan bedraagt. Hierdoor is een nagenoeg onvertraagde ("real time") precompensatie voor de versmeringseffecten niet uitvoerbaar.

II

Het doel van de onderhavige uitvinding is dit bezwaar te ondervangen en tevens aanvullende voordelen te verschaffen.

De onderhavige uitvinding heeft derhalve betrekking op een werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigd geprecompenseerd patroon van blootstellingsdoses van een elektronenbundel, omvattende:

- 10 - het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;
- het met de versmeringsfunctie en het gewenst patroon bepalen van het geprecompenseerde patroon, waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de
- 15 blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevatten en dat de blootstellingsdoses ten opzichte van elkaar ten minste in enige mate glad zijn.

Aangezien een negatieve waarde voor de blootstellingsdosis van een elektronenbundel geen fysische betekenis heeft en derhalve niet realiseerbaar is, wordt de bepaling van de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon zodanig uitgevoerd dat deze (vrijwel) uitsluitend positieve waarden aannemen. Bovendien wordt een gladde oplossing verkregen aangezien hevige oscillaties in de versmeringsfunctie geen fysische grondslag hebben, doch slechts veroorzaakt worden door mathematische instabiliteit van de berekeningen.

In een voorkeursuitvoeringsvorm van de uitvinding omvat de werkwijze de stappen:

- 30 a) het schatten van een regularisatie parameter;
- b) het met alle patroonpunten van het gewenst patroon behalve een bepaald patroonpunt bepalen van een geprecompenseerd patroon;
- 35 c) het met de versmeringsfunctie opnieuw versmeren van het geprecompenseerd patroon voor het voorspellen van de dosis van het bepaalde patroonpunt;

d) het voor elk patroonpunt herhalen van stappen b en c;

e) het herhalen van stappen a tot en met d met aangepaste regularisatie parameter totdat een eindwaarde van een regularisatie parameter bereikt is;

f) het bepalen van het geprecompenseerde patroon met de eindwaarde van de regularisatie parameter.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding omvat stap b) de volgende iteratieve bepaling:

10

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$

waarbij a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm is, K^* de hermitisch geconjugeerde van de versmeringsfunctie K is, B een operator, en λ een regularisatieparameter.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is operator B als volgt gedefinieerd:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

waarin de sommatie plaatsvindt over alle patroonpunten, d_i het i^e element van de vector d is, en d_{tot} de sommatie over alle elementen van de vector d voorstelt.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is in bovengenoemde stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de regularisatie parameter waarbij

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [K d_k(\lambda)]_k)^2$$

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, en K de versmeringsfunctie in matrix-
5 vorm is.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is in stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de regularisatie parameter waarbij

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

10 waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm en w_{kk} gedefinieerd is als:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

15 met a_{kk} de elementen van de matrix

$A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$ en L de discrete Laplace-transformatie, minimaal is.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding worden na stap e) de stap uitgevoerd van het
20 trainen van een neuraal netwerk met behulp van één of meer gewenste eerste patronen en de daarbij behorende geprecompenseerde patronen.

Volgens een verdere uitvoeringsvorm van de uitvinding is met het getrainde neurale netwerk het
25 geprecompenseerde patroon behorend bij een tweede gewenst patroon te bepalen, waarbij in een verdere uitvoeringsvorm het eerste gewenste patroon een relatief eenvoudig trainingspatroon is en het tweede gewenste patroon het deelpatroon van een geïntegreerde schakeling is en waar-
30 bij in een verdere uitvoeringsvorm twee of meer deelpa-

tronen tot een samengesteld patroon van de geïntegreerde schakeling te combineren zijn.

Door een bekend eerste gewenst patroon, dat bij voorkeur eenvoudig is, het bijbehorende geprecompenseerde
 5 patroon van blootstellingsdosis te bepalen en vervolgens het verband tussen de weegfactoren van een neurale netwerk vast te leggen, wordt verzekerd dat voor een tweede gewenst patroon, dat gecompliceerder kan zijn, het verkrijgen van het verband tussen dit patroon en de daarbij
 10 behorende blootstellingsdosis op zeer efficiënte en snelle wijze door het neurale netwerk wordt bepaald. Het eerste patroon is een over het algemeen relatief eenvoudig trainingspatroon, terwijl het tweede patroon, bijvoorbeeld het patroon van een zeer gecompliceerde,
 15 geïntegreerde schakeling is.

In een voorkeursvorm van de uitvinding is het bovengenoemde neurale netwerk in hardware geïmplementeerd, waardoor het bepalen van het verband tussen een patroon en de daardoor bijbehorende blootstellingsdosis
 20 op snellere wijze wordt bepaald, bij voorkeur binnen 60 ns voor elk patroonpunt en voor een patroon van 10^{10} binnen de 10 minuten.

Volgens een voorkeursvorm van de uitvinding is de versmeringsfunctie opgebouwd uit ten minste twee
 25 Gaussische functies, waaraan eventueel een exponentiële functie is toegevoegd. Parameters van de Gaussische functies en eventueel de exponentiële functie zijn te bepalen door middel van statistische simulatie van het systeem van elektronenbundelzendapparatuur en de betreffende
 30 deklaag en ondergrond van de te vervaardigen geïntegreerde schakeling.

In een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding worden parameters bepaald door metingen te verrichten aan het systeem van elektronenbundelzendapparatuur en de
 35 betreffende deklaag met ondergrond.

De onderhavige uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het bepalen van de voor het verkrijgen van een gewenst patroon in een deklaag op een

ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende een elektronische schakeling voor het implementeren van het bovengenoemde neurale netwerk met weegfactoren die op de bovengenoemde wijze zijn bepaald.

De uitvinding zal hierna aan de hand van een voorkeursuitvoeringsvorm daarvan verduidelijkt worden, waarbij gebruik wordt gemaakt van de bijgevoegde tekeningen, waarin:

- 10 - figuur 1 een schematisch overzicht is van een voorkeursvorm van een inrichting volgens de uitvinding;
- figuren 2a-2c een schematische overzicht geven van de bepaling van een geprecompenseerde patroon van 3x3 patroonpunten;
- 15 - figuur 3 een gewenst trainingspatroon van 256x256 patroonpunten weergeeft;
- figuur 4 het trainingspatroon van figuur 3 na versmering weergeeft;
- figuur 5 een grafiek weergeeft waarin voor
- 20 het trainingspatroon van figuur 3 de voorspellingsfout als functie van de gekozen regularisatieparameter is uitgezet;
- figuur 6 het trainingspatroon van figuur 3 na precompensatie weergeeft;
- 25 - figuur 7 het geprecompenseerde patroon van figuur 6 na versmering weergeeft; en
- figuur 8 een schematische voorstelling van een neurale netwerk voor de bepaling van geprecompenseerde patronen weergeeft.
- 30 In een opstelling van apparatuur voor het zenden van een elektronenbundel en een te behandelen ondergrond 1 met deklaag 2 wordt een bundel elektronen 3 gericht op een positie of patroonpunt van een deklaag 2 op een ondergrond 1. De interactie van de invallende
- 35 elektronenstraal 3 met de deklaag of resistfilm 2 en de onderlaag of het substraat 1 heeft een verstrooiing van de elektronen in de deklaag 2 tot gevolg hetgeen versmerings- ofwel nabijheidseffecten veroorzaakt. Wanneer

bijvoorbeeld een primair elektron de deklaag binnen-
 dringt, wordt een deel van zijn energie overgebracht op
 elektronen van de atomen van de deklaag, hetgeen ioni-
 satie of excitatie daarvan veroorzaakt. Een botsing
 5 tussen elektronen met een grote overdracht van energie
 genereert een secundair elektron, dat in het algemeen een
 verplaatsingsrichting loodrecht op die van een primair
 elektron heeft.

Meer in het algemeen hebben versmeringseffecten
 10 in elektronenbundellithografie betrekking op het proces
 waardoor de resolutie van het blootgestelde patroon
 verlaagd wordt door primaire elektronenverstrooiing
 (forward scattering) en secundaire elektronopwekking
 (backward scattering) in de deklaag en de ondergrond van
 15 een te vervaardigen geïntegreerde schakeling. Scherpe
 kenmerken zoals hoeken in het gewenste patroon worden
 afgerond, lijndiktes en tussenruimtes worden aangepast en
 in bepaalde extreme gevallen verdwijnen zelfs sommige
 kenmerken geheel of worden zij op incorrecte wijze samen-
 20 gevoegd met naastliggende kenmerken.

De versmeringseffecten of nabijheidseffecten
 zijn te beschrijven door een versmeringsfunctie, die het
 verband weergeeft tussen enerzijds de blootstellingsdoses
 van een bepaald patroonpunt van een te vervaardigen
 25 patroon in de deklaag en anderzijds de door dit patroon-
 punt en door naburige patroonpunten daadwerkelijk geab-
 sorbeerde doses. Het effect van de versmering wordt der-
 halve vastgelegd in de versmeringsfunctie.

Ervan uitgaande dat de blootstelling en versme-
 30 ring lineair en spatieel invariant zijn en dat voor een
 numerieke oplossing een discrete representatie de voor-
 keur heeft kan het bovenstaande als volgt in matrixvorm
 tot uiting worden gebracht: $A = KD$, waarin A een kolom-
 vector is waarvan elk element a_i de totale energiedosis is
 35 die daadwerkelijk in het bijbehorende patroonpunt is
 geabsorbeerd, K een versmeringsmatrix is waarvan elk mn -
 de element het gedeelte van de energiedosis is dat geab-
 sorbeerd is in patroonpunt m vanaf een eenheidsbloot-

stellingsdosis die wordt geleverd aan patroonpunt n , en D een kolomvector is die is opgebouwd uit elementen d_i die de blootstellingsdoses representeren die per patroonpunt door de elektronenbundelapparatuur wordt afgegeven.

- 5 Aangezien het versmeringseffect onvermijdelijk is, is het zaak om de blootstellingsdoses d_i van de verschillende patroonpunten zodanig aan te passen dat de daadwerkelijk in een patroonpunt geabsorbeerde dosis a_i zodanig is dat toch het gewenste patroon verkregen wordt.
- 10 Deze zogenoemde precompensatie van de blootstellingsdosis van de elektronenbundel kan volgens de huidige stand van de techniek worden uitgevoerd door bepaling van de inverse van de versmeringsmatrix K . Er zijn vele manieren om een matrix in het algemeen te
- 15 inverteren. Deze manieren houden vaak echter geen rekening met fysieke beperkingen, zoals in dit geval bijvoorbeeld die van de elektronenbundelzendapparatuur. Zo zijn er bijvoorbeeld geen negatieve blootstellingsdoses mogelijk. Bovendien is een bezwaar van dergelijke inversiemethodes dat de geïnverteerde matrix veel oscillaties
- 20 vertoont. Bovendien dient voor inversie van de versmeringsmatrix voor een deelpatroon van bijvoorbeeld 256×256 patroonpunten al de inversie van een versmeringsmatrix met dimensies van 65536×65536 berekend te worden, hetgeen
- 25 een enorme hoeveelheid rekentijd vergt.

In figuren 2a t/m 2c is een gewenst patroon (A) weergegeven. Het patroon is opgebouwd uit een 9-tal patroonpunten a_i waarbij i varieert van 1 tot 9. Dit gewenst patroon dient geprecompenseerd te worden teneinde

30 na blootstelling aan de versmerende elektronenbundel het gewenste patroon te kunnen verschaffen, dat wil zeggen dat de waarden van d_i , met i variërend van 1 tot 9, bepaald dienen te worden.

Allereerst wordt het geprecompenseerde patroon

35 bepaald gebruik makend van de doses a_i met i van 2 tot 9, waarbij derhalve patroonpunt 1 buiten beschouwing wordt gelaten (figuur 2a). Dit geprecompenseerde patroon wordt bepaald aan de hand van de volgende uitdrukking:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - Kd^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$
 waarbij a een vector met als elementen de doses van het
 gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses
 5 van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunc-
 tie in matrixvorm is, K^* de hermitisch geconjugeerde van
 de versmeringsfunctie K is, B een operator is, en λ een
 regularisatieparameter is. De waarde van de regularisa-
 tieparameter kan willekeurig gekozen worden, in dit geval
 10 bijvoorbeeld $\lambda = 0$.

De operator B legt een beperking op en kan als
 volgt gedefinieerd worden:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

15 waarin de sommatie plaatsvindt over alle patroonpunten, d_i
 het i^e element van de vector d is, en d_{tot} de sommatie over
 alle elementen van de vector d voorstelt.

Het aldus bepaalde geprecompenseerde patroon
 wordt vervolgens aan de hand van de bekende versmerings-
 20 functie opnieuw versmeerd, waarmee de voorspelde dosis Kd
 van patroonpunt 1 wordt bepaald.

Vervolgens wordt de bovenstaande procedure
 achtereenvolgend herhaald (figuren 2b en 2c) voor het
 tweede tot en met negende patroonpunt ($i=2, \dots, 9$), waarbij
 25 telkens alle patroonpunten met uitzondering van één
 patroonpunt gebruikt worden.

Aan de hand van de bovenstaande resultaten
 wordt de kleinste kwadraten voorspellingsfout over alle
 patroonpunten bepaald, hetgeen later nader zal worden
 30 verklaard.

Vervolgens wordt de bovenstaande procedure
 herhaald met andere waarden voor de regularisatiepara-
 meter λ , bijvoorbeeld $\lambda_2 = 0,001$, $\lambda = 0,002$, etc. Gekozen

wordt uiteindelijk de regularisatieparameter waarbij de kleinste kwadraten voorspellingsfout over alle patroonpunten minimaal is. Deze regularisatieparameter wordt dan gekozen als de optimale regularisatieparameter λ_{opt} . Aan de hand van deze optimale regularisatieparameter λ_{opt} wordt dan het uiteindelijke geprecompenseerde patroon bepaald.

Hiertoe wordt het minimum bepaald van de uitdrukking:

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

10

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm en w_{kk} gedefinieerd is als:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

met a_{kk} de elementen van de matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D))^T L(D)^{-1} K^T$ en L de Laplace-operator.

De versmeringsfunctie als gevolg van forward scattering en backward scattering van de elektronen van de elektronenbundel kan op verschillende wijzen worden bepaald. Zij kan worden bepaald aan de hand van metingen van de impulsresponsie van de apparatuur voor het zenden van de elektronenbundel op een testobject. De versmeringsfunctie kan ook worden bepaald met behulp van diverse Monte Carlo technieken. In de eerstgenoemde bepalingwijze wordt rekening gehouden met alle fysische aspecten van de gebruikte apparatuur. In de later genoemde bepalingwijze wordt slechts een model van de werkelijkheid gebruikt, de bepaling is echter wel eenvoudiger uit te voeren zonder uitgebreide metingen te vergen.

Als benadering voor de op een van de boven beschreven wijzen bepaalde versmeringsfuncties zijn bij voorkeur Gaussische functies te gebruiken. De versmeringsfunctie wordt in dit geval bijvoorbeeld "gefit" met
 5 een scattering fit model van een dubbele Gaussische functie (voor zowel forward als backward scattering eigenschappen van de elektronen), een driedubbele Gaussische functie of een dubbele Gaussische functie met een dalende exponentiële functie. De keuze van het scattering
 10 fit model is afhankelijk van de afmetingen van de te onderscheiden onderdelen van het testobject (resolutie). Bij afmetingen kleiner dan 100 nm wordt de keuze hiervan kritisch; bij dergelijke kleine afmetingen hebben de driedubbele Gaussische functies of dubbele Gaussische
 15 functies met dalende exponentiële functie de voorkeur. Een versmeringsfunctie met dubbele Gaussische functies is met 3 parameters te beschrijven, terwijl de overige twee genoemde scattering fit modellen met 4 parameters te beschrijven zijn, hetgeen een grote reductie in de hoe-
 20 veelheid te verwerken gegevens impliceert.

In figuur 3 is een gewenst patroon van 256x256 patroonpunten weergegeven. Na versmering met een versmeringsfunctie in de vorm van een dubbele Gaussische functie met $\alpha = 50$ nm, $\beta = 3,45$ en $n = 1,36$ levert het versmeerde
 25 de patroon van figuur 4. Duidelijk zichtbaar is, dat veel detail in het patroon verloren is gegaan, hetgeen een beperking betekent van de te bereiken resolutie van het te vervaardigen patroon. Toepassing van de werkwijze volgens de uitvinding levert een optimale regularisatie-
 30 parameter van $\lambda_{\text{opt}} = 0,07042$, hetgeen in figuur 5 is aangegeven, waarin bij deze waarde van λ de fout in het patroon minimaal is. Het met deze waarde van λ berekende geprecompenseerde patroon en het bijbehorende versmeerde patroon zijn weergegeven in respectievelijk figuren 6 en
 35 7. Uit vergelijking van de resultaten van figuur 7 met die van figuur 3 blijkt, dat het precompensatie van het patroon een gewenst patroon een versmeerd patroon oplevert waarvan de resolutie sterk is verbeterd. Hiermee

zijn te onderscheiden onderdelen met afmetingen van minder dan 100 nm, bijvoorbeeld in een geïntegreerde schakeling, realiseerbaar. Een vergelijking van de resultaten van de hierin beschreven werkwijze met die van
 5 andere correctiemethoden is opgenomen in tabel 1. De foutmaat van de correctiemethoden is hier gedefinieerd als de sommatie van het verschil tussen de berekende blootstellingsdoses en de ideale, geprecompenseerde blootstellingsdoses gedeeld door het aantal patroonpunten.

10

Correctiemethode	foutmaat in %
Ongecorrigeerd	10,2 %
Afkappen	10,2 %
Verschuiven en opschalen	12,2 %
15 Onderhavige methode	4,9 %

Uit het bovenstaande blijkt, dat de onderhavige methode van bepaling van een geprecompenseerd patroon in vergelijking tot de overige gangbare methoden veruit de klein-
 20 ste foutmaat oplevert.

Het geprecompenseerde patroon en het gewenste patroon worden vervolgens gebruikt als trainingsset of trainingspatronen voor een neurale netwerk. Een deel van een dergelijk netwerk is schematisch weergegeven in
 25 figuur 8 en wordt gerepresenteerd door de uitdrukking

$$a_i = \sum_{j=1}^9 w_{ij} h_{ij}(x)$$

dat wil zeggen dat dosis a_i uitgedrukt is in een verzameling van 9 basisfuncties h_{ij} , in dit geval radiële functies.

30 Na training van het neurale netwerk kan voor een ander willekeurig gewenst patroon op zeer snelle wijze een geprecompenseerd patroon worden bepaald. Een willekeurig patroon kan bijvoorbeeld een patroon van 512

bij 512 patroonpunten zijn die een deelpatroon van een geïntegreerde schakeling vormen. Verscheidene deelpatronen worden vervolgens gecombineerd (geclusterd) tot één patroon dat de gehele geïntegreerde schakeling of ten 5 minste een deel daarvan omvat.

Het boven beschreven neurale netwerk kan geïmplementeerd worden in hardware, en bij voorkeur in analoge hardware aangezien de rekensnelheid van op dergelijke wijze geïmplementeerde neurale netwerken zeer groot 10 is. Zo bedraagt de rekentijd voor precompensatie van een patroon minder dan 60 ns per patroonpunt. Precompensatie van patroon van een geïntegreerde schakeling van circa 10^{10} patroonpunten vergt in dit geval op de huidige personal computers derhalve slechts circa 10 minuten.

15 De uitvinding wordt voorts beschreven in het niet-voorgepubliceerde proefschrift met tekst "Proximity effects correction in electron beam nanolithography", waarvan de gehele inhoud als hierbij ingelast dient te worden beschouwd.

CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigd geprecompenseerd patroon van blootstellingsdoses van een elektronenbundel, 5
omvattende:

- het bepalen van de versmeringsfunctie van de elektronenbundel;

- het met de versmeringsfunctie en het gewenst patroon bepalen van het geprecompenseerde patroon, 10
waarbij het bepalen zodanig wordt uitgevoerd, dat de blootstellingsdoses vrijwel uitsluitend positieve waarden bevatten en dat de blootstellingsdoses ten opzichte van elkaar ten minste in enige mate glad zijn.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, omvattende de 15 stappen:

- a) het schatten van een regularisatie parameter;

- b) het met alle patroonpunten van het gewenst patroon behalve een bepaald patroonpunt bepalen van een 20 geprecompenseerd patroon;

- c) het met de versmeringsfunctie opnieuw versmeren van het geprecompenseerd patroon voor het voorspellen van de dosis van het bepaalde patroonpunt;

- d) het voor elk patroonpunt herhalen van stap- 25 pen b en c;

- e) het herhalen van stappen a tot en met d met aangepaste regularisatie parameter totdat een eindwaarde van een regularisatie parameter bereikt is;

- f) het bepalen van het geprecompenseerde patroon met de eindwaarde van de regularisatie parameter. 30

3. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij stap b) de volgende iteratieve bepaling omvat:

$$d^{(1)} = d^{(1-1)} + (K^*K + \lambda B(D))^{-1} K^* r^{(1-1)} \quad r^{(1)} = a - K d^{(1)}$$

met $d^{(0)} = 0$ en $r^{(0)} = a$

waarbij a een vector met als elementen de doses van het
gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses
5 van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunc-
tie in matrixvorm is, K^* de hermitisch geconjugeerde van
de versmeringsfunctie K is, B een operator, en λ een
regularisatieparameter.

4. Werkwijze volgens conclusie 3, waarbij de
10 operator B als volgt is gedefinieerd:

$$B(D) = \sum_i \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right) \ln \left(\frac{d_i}{d_{tot}} \right)$$

waarin de sommatie plaatsvindt over alle patroonpunten, d_i
het i^e element van de vector d is, en d_{tot} de sommatie over
15 alle elementen van de vector d voorstelt.

5. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij in
stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de
regularisatie parameter is waarbij

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [K d_k(\lambda)]_k)^2$$

20

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector
met als elementen de doses van het gewenste patroon, d
een vector met de blootstellingsdoses van het geprecom-
penseerde patroon, en K de versmeringsfunctie in matrix-
25 vorm is.

6. Werkwijze volgens conclusie 2, waarbij in
stap e) de eindwaarde van de regularisatie parameter de
regularisatie parameter is waarbij

30

$$\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (a_k - [Kd^k(\lambda)]_k)^2 w_{kk}(\lambda)$$

waarin N het totaal aantal patroonpunten, a een vector met als elementen de doses van het gewenste patroon, d een vector met de blootstellingsdoses van het geprecompenseerde patroon, K de versmeringsfunctie in matrixvorm en w_{kk} gedefinieerd is als:

$$w_{kk}(\lambda) = \left[\frac{1 - a_{kk}(\lambda)}{1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_{jj}(\lambda)} \right]^2$$

met a_{kk} de elementen van de matrix $A = K(K^T K + \lambda L(D)^T L(D))^{-1} K^T$. en L de Laplace-operator, minimaal is.

7. Werkwijze volgens een der voorgaande conclusies, waarbij na stap e) de stappen omvattende van het trainen van een neurale netwerk met behulp van één of meer gewenste eerste patronen en de daarbij behorende geprecompenseerde patronen.

8. Werkwijze volgens conclusie 7, waarbij met het getrainde neurale netwerk het geprecompenseerde patroon behorend bij een tweede gewenst patroon te bepalen is.

9. Werkwijze volgens conclusie 7 en 8, waarbij het eerste gewenste patroon een relatief eenvoudig trainingspatroon is en het tweede gewenste patroon het deelpatroon van een geïntegreerde schakeling is.

10. Werkwijze volgens conclusie 9, waarbij twee of meer deelpatronen tot een samengesteld patroon van de geïntegreerde schakeling te combineren zijn.

11. Werkwijze volgens een van de conclusies 7-10, waarbij het neurale netwerk een radiële basis functie netwerk is.

12. Werkwijze volgens een der conclusies 7-11, waarbij het neurale netwerk in hardware geïmplementeerd is.

13. Werkwijze volgens conclusie 12, waarbij het neurale netwerk in analoge hardware geïmplementeerd is.

14. Werkwijze volgens één van de voorgaande conclusies, waarbij de versmeringsfunctie ten minste is opgebouwd uit twee Gaussische functies.

15. Werkwijze volgens conclusie 14, waarbij aan
5 de versmeringsfunctie een exponentiële functie is toegevoegd.

16. Werkwijze volgens conclusie 14 of 15, waarbij de parameters van de Gaussische functies bepaalbaar zijn met behulp van statistische simulaties.

10 17. Werkwijze volgens conclusie 14 of 15, waarbij de parameters van de Gaussische functies bepaalbaar zijn door metingen.

18. Werkwijze voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een
15 ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende:

- het invoeren van een trainingspatroon en de daarbij behorende blootstellingsdoses in een neurale netwerk ter training daarvan;
- 20 - het bepalen van de weegfactoren van het neurale netwerk;
- het met het neurale netwerk bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond benodigde blootstellingsdoses.

25 19. Inrichting voor het bepalen van de voor verkrijging van een gewenst patroon in een deklaag op een ondergrond per patroonpositie benodigde blootstellingsdosis van een elektronenbundel, omvattende elektronische schakelmiddelen voor het implementeren van een neurale
30 netwerk met weegfactoren die bepaald zijn volgens een der voorgaande conclusies.

20. Geïntegreerde schakelingen die zijn vervaardigd met de inrichting van conclusie 19 of volgens de werkwijze van een der conclusies 1-18.

10 10 3 1 1

FIG. 1

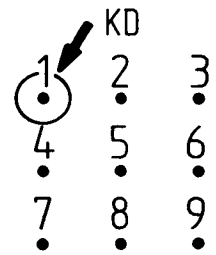
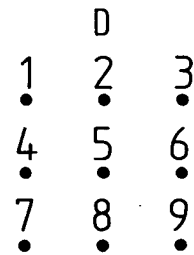
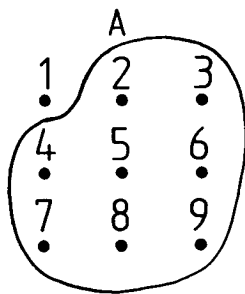
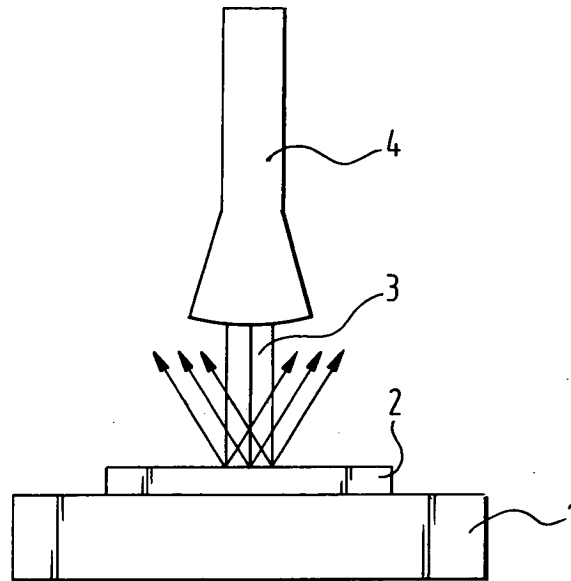


FIG. 2a

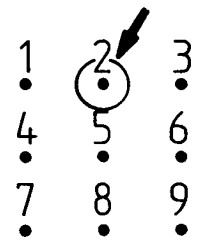
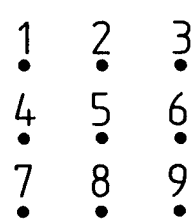
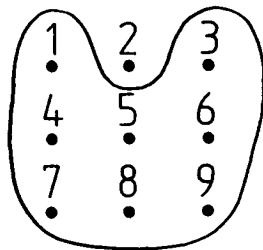


FIG. 2b

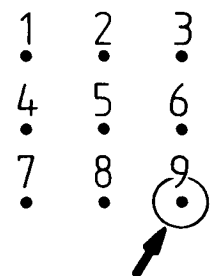
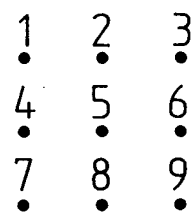
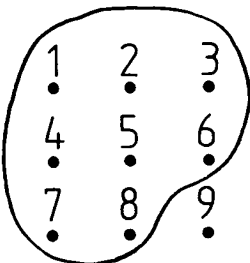


FIG. 2c

101031

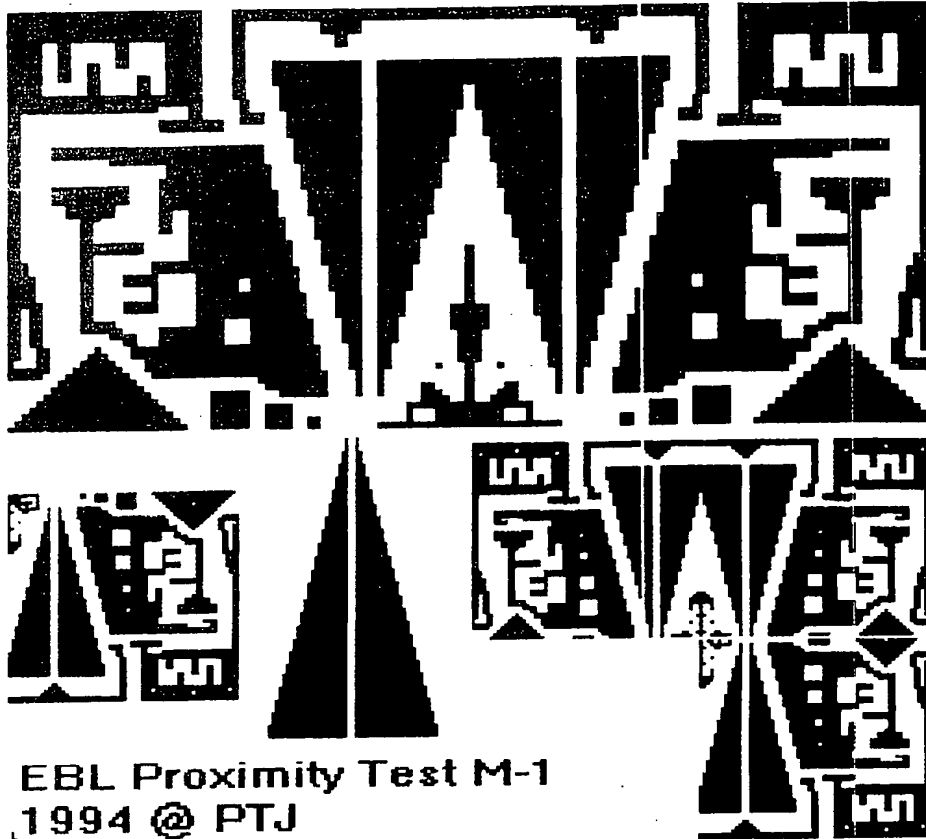


FIG. 3

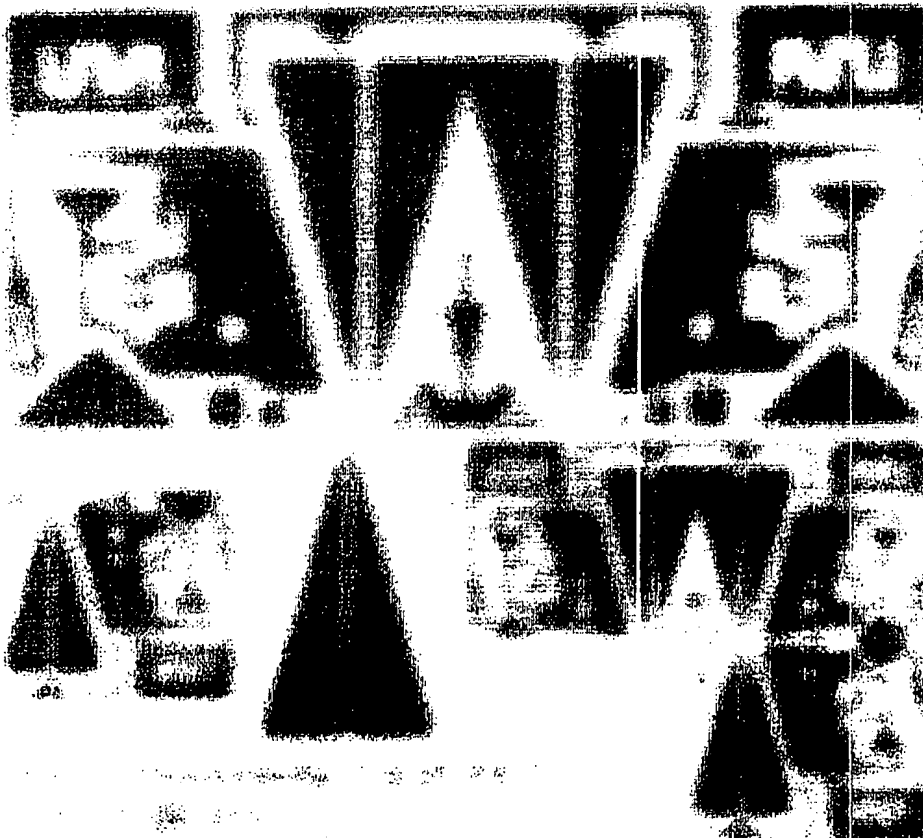


FIG. 4

1010311

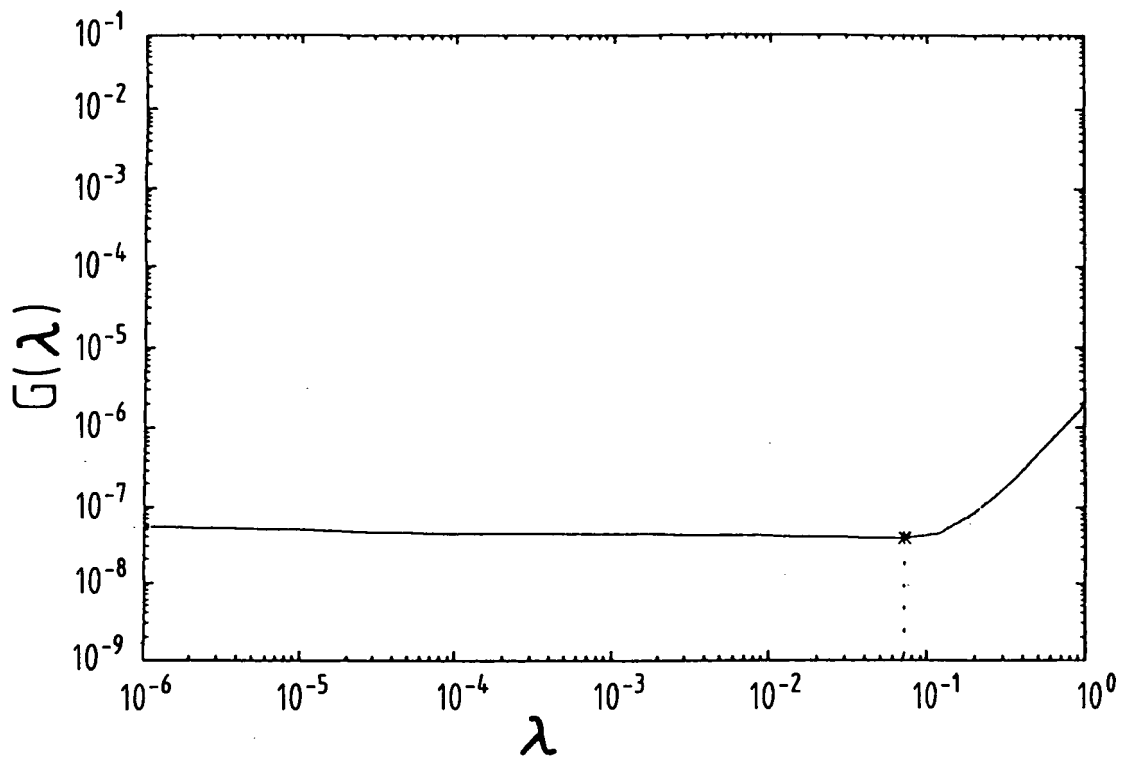


FIG. 5

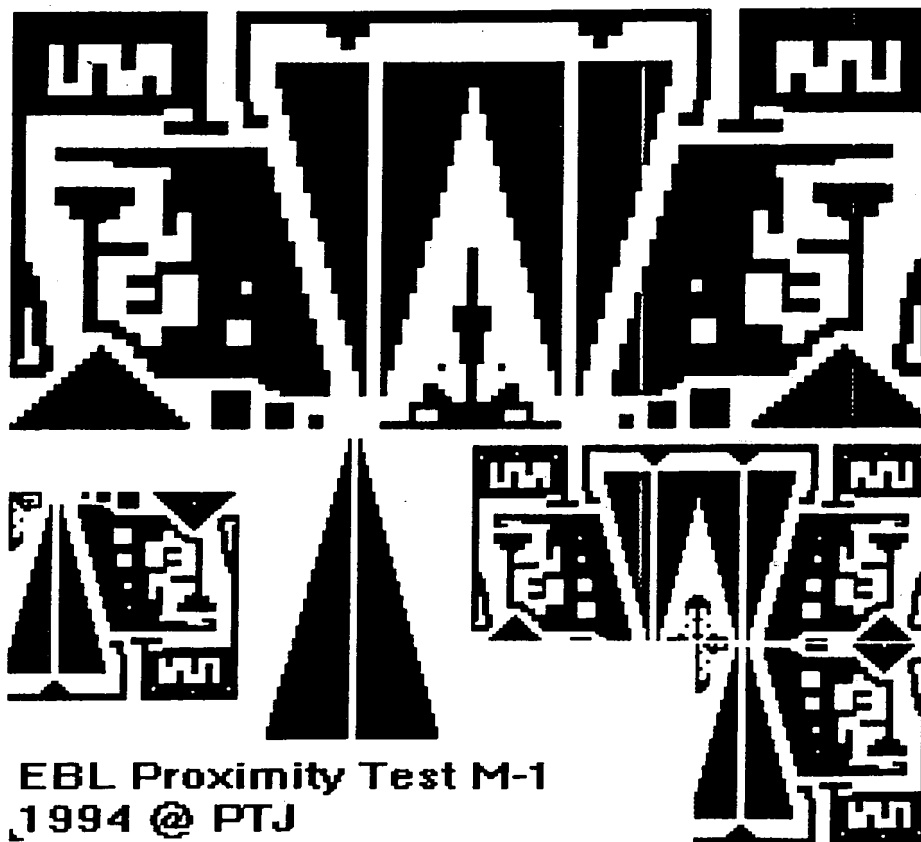


FIG. 6

g II C

10 10 3 1

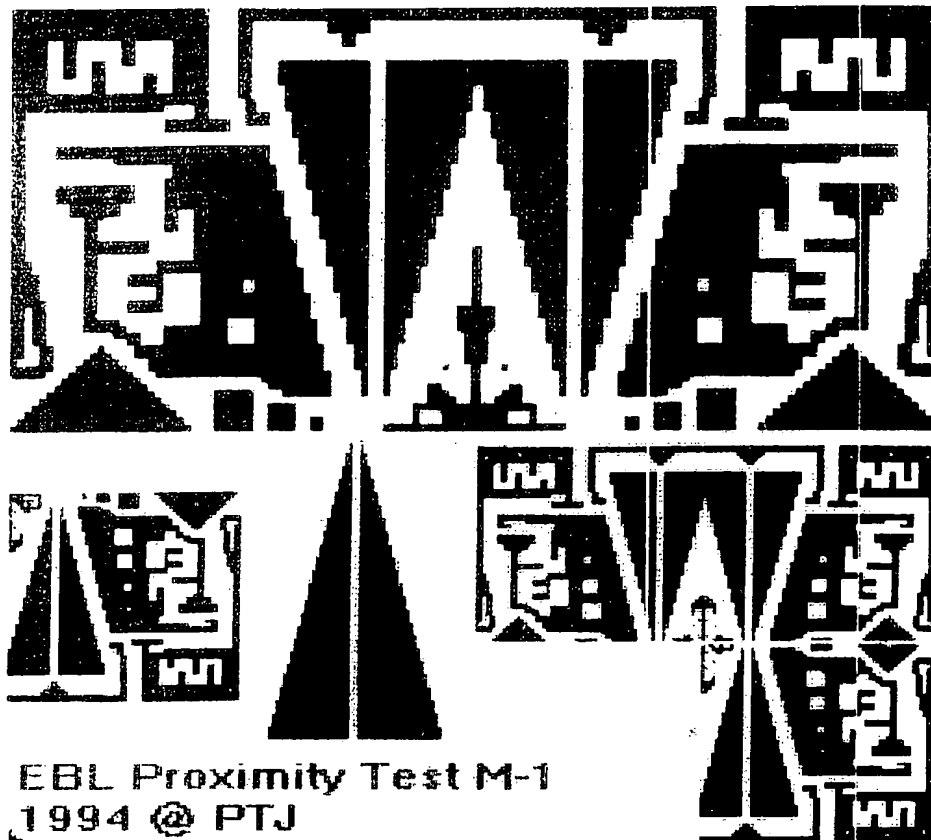


FIG. 7

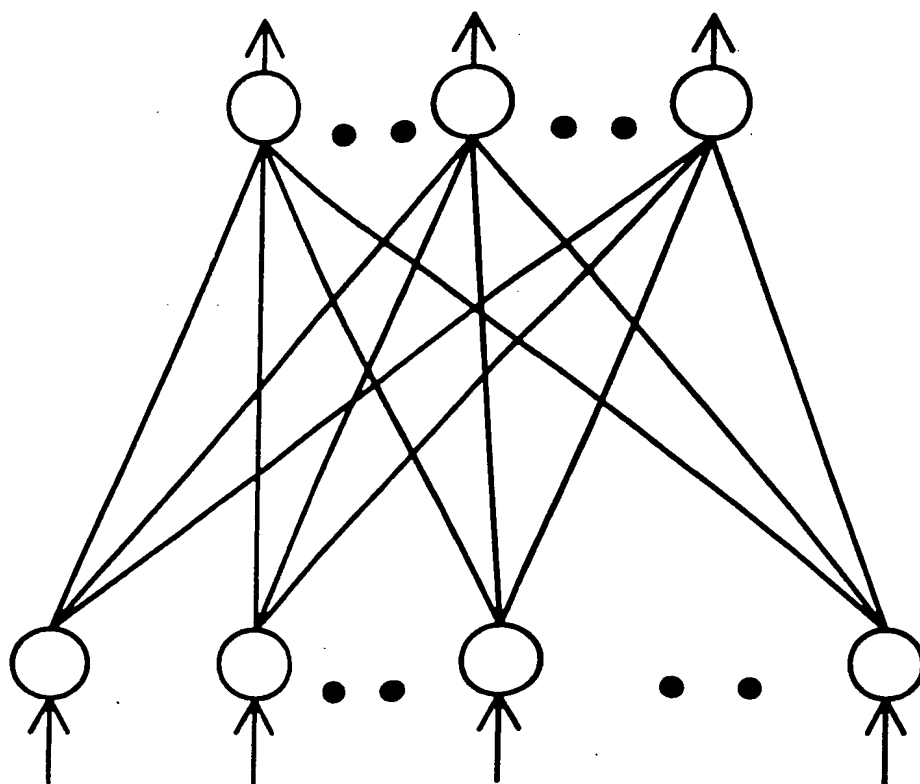


FIG. 8

This Page Blank (uspto)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)